

SYSTEM AND METHOD FOR COMPENSATING DISTRIBUTION

**Publication number:** JP11331074

**Publication date:** 1999-11-30

**Inventor:** TANAKA TOSHIKI; NAITO TAKAO

**Applicant:** FUJITSU LTD

**Classification:**

- international: H04J14/00; H04B10/02; H04B10/16; H04B10/17; H04B10/18; H04J14/02; H04J14/00; H04B10/02; H04B10/16; H04B10/17; H04B10/18; H04J14/02; (IPC1-7): H04B10/02; H04B10/16; H04B10/17; H04B10/18; H04J14/00; H04J14/02

- European: H04B10/18D2M

**Application number:** JP19980126268 19980508

**Priority number(s):** JP19980126268 19980508

**Also published as:**

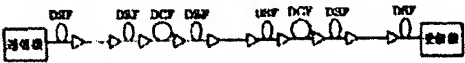
US6433923 (B2)

US2002012162 (A1)

Report a data error here

**Abstract of JP11331074**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To prevent the degradation of transmission characteristics while reducing the amount of wavelength distribution compensation at a reception terminal station by dividing a transmission line into plural blocks, providing a distribution compensator for compensating the distribution of a specified wavelength, and practically turning the distribution into zero at the terminal of a receiver concerning the specified wavelength. **SOLUTION:** The signal light of (n) waves are multiplexed by a transmitter and branched through the transmission line by the receiver. On the transmission line, a distribution compensation fiber(DCF) is introduced for compensating the distribution at the interval of a block for several distribution shift fibers(DSF). In respect to the central wavelength of distribution in the signal light wavelength, the distribution compensation amount of DCF to be used for that distribution compensation is not turned into zero for each block but the final residual distribution amount of the receiver is constituted closer to zero. At the time of wavelength multiple communication, since the residual distribution to be compensated at the reception terminal station is made close to zero by the central wavelength, the other wavelength is distributed with zero as a center as well and the amount of distribution compensation on the side of reception can be reduced.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-331074

(43) 公開日 平成11年(1999)11月30日

(51) Int.Cl.<sup>8</sup>

識別記号

F I

H 0 4 B 10/02

H 0 4 B 9/00

M

10/18

J

10/17

E

10/16

H 0 4 J 14/00

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 11 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平10-126268

(22) 出願日 平成10年(1998) 5 月 8 日

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番  
1 号

(72) 発明者 田中 俊毅

神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番  
1 号 富士通株式会社内

(72) 発明者 内藤 崇男

神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番  
1 号 富士通株式会社内

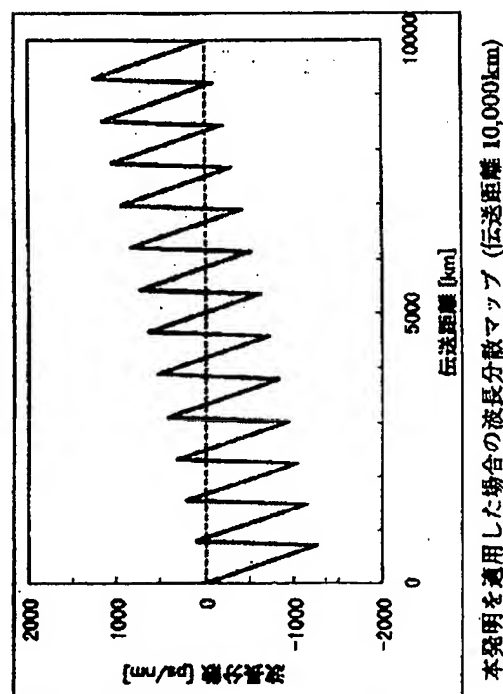
(74) 代理人 弁理士 井桁 貞一

(54) 【発明の名称】 分散補償システム及び分散補償方法

(57) 【要約】

【課題】 受信機側に設ける分散補償器の削減を図り、受信器側分散補償器の損失を補償するための光増幅器を削減することを目的とする。

【解決手段】 波長多重通信においては信号光波長における分布の中心波長に対し、単波長通信に対しては通信波長に対して分散補償ファイバの挿入ごとのブロックでは零とせず、最終的な残留分散が実質的に零になるように構成する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】送信機と受信機間の分散が生じる伝送路を単一または複数の波長の光を用いて通信を行う光通信システムに於いて、

該伝送路を複数のブロックに分割して該ブロック内で生じる特定波長の分散を該ブロック内で生じる該特定波長の分散量より過剰に分散補償を行う分散補償器を設け、

該特定波長において該受信機端で分散が実質的に零になるようにすることを特徴とする分散補償システム。

【請求項2】該送信機と該受信機間にはほぼ等間隔に光増幅中継器を有しており、

該光増幅中継器間隔を変えずに該分散補償器を挿入することを特徴とする請求項1記載の分散補償システム。

【請求項3】請求項2に於いて、該光増幅中継器間の設置位置は変えずに分散補償器の補償量を変えることを特徴とする分散補償システム。

【請求項4】請求項1に於いて、

該分散補償器は該光増幅中継器間の分散を生じるファイバと分散する分散補償ファイバからなり、

該分散を生じるファイバと該分散補償ファイバの割合の異なる多種類のケーブルを用意して、分散補償量を可変することを特徴とする分散補償方法。

【請求項5】請求項1に於いて、

該分散補償器は該光増幅中継器間の分散を生じるファイバと分散する分散補償ファイバからなり、

該分散を生じるファイバと該分散補償ファイバの割合の異にして接続したファイバを複数設け、1本のケーブル内に分散補償量の異なる多種類のファイバを収容し、ケーブル接続時に最適な分散補償量のファイバを選択することを特徴とする分散補償方法。

【請求項6】請求項1において、

該分散補償器の数を(m)、該ブロック数を(m+1)とした場合に、分散補償器の補償量として約(m+1)/m × 100%補償とすることを特徴とする分散補償システム。

【請求項7】請求項1記載のシステムを構成する場合に、

該送信機側と該受信機側からケーブルの敷設を行い、該

送信側のケーブルと受信側のケーブルを接続する際に、異なる分散値を有する複数のファイバを収容した多芯化

ケーブルで接続を行い、システム全体のファイバの波長分散の製造誤差を補償することを特徴とする分散補償方法。

【請求項8】請求項1において、該分散補償器として正の分散を持つファイバを用いる場合は該伝送路として負の分散を持つファイバを用い、

該分散補償器として負の分散を持つファイバを用いる場合は該伝送路として正の分散を持つファイバを用いることを特徴とする分散補償方法。

【請求項9】請求項1に於いて、

複数の波長を用いるシステムでは特定波長は複数の波長の中の中心の波長であることを特徴とする分散補償システム。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】従来、数千キロメートルに及ぶ大洋を横断する長距離の光伝送システムでは、光信号を電気信号に変換し、retiming, reshaping および regenerating を行う光再生中継器を用いて伝送を行っていた。しかし、現在では、光を直接増幅できる光増幅器の実用化が進み、光増幅器を線形中継器として用いる光増幅中継伝送方式が検討されている。

【0002】光再生中継器を光増幅中継器に置き換えることにより、中継器内の部品点数を大幅に削減し、信頼性を確保するとともに大幅なコストダウンが見込まれる。また、光伝送システムの大容量化を実現する方法のひとつとして、1つの伝送路に2つ以上の異なる波長を持つ光信号を多重して伝送する波長多重(WDM) 光伝送方式が注目されている。

【0003】WDM 光伝送方式と光増幅中継伝送方式を組み合わせたWDM 光増幅中継伝送方式においては、光増幅器を用いて2つ以上の異なる波長を持つ光信号を一括して増幅することが可能であり、簡素な構成(経済的)で、大容量かつ長距離伝送が実現可能である。

## 【0004】

【従来の技術】例えば、1波あたりの伝送速度2.5Gb/sの9波多重光増幅中継伝送システムの場合について説明する。9つの信号波長は、1551.0 nm から1559.0 nm まで1.0 nm間隔で設定し、短波長側からチャンネル番号を割り当てる。

【0005】伝送路には、1.5 μm 零分散ファイバ(分散シフトファイバ、Dispersion-Shifted-Fiber, DSF)と、分散補償ファイバ(Dispersion compensating Fiber, DCF, 1.3 μm 零分散ファイバ)を用いてる。DSFの分散は波長1558 nm において平均-2 ps/nm/km であり、DCFの分散は+18 ps/nm/kmとする。中継間隔は70 kmにする。

【0006】このようなシステム構成の場合の分散スロープの影響による各波長における残留累積分散の違いを図1に示す。図中分布する信号光波長の中心波長(この場合では、チャンネル5)、最も短波長側のチャンネル(この場合ではチャンネル1)、最も長波長側のチャンネル(この場合ではチャンネル9)の3つのチャンネルの波長分散マップの状態が示されている。

【0007】図1では分散スロープの違いにより、3000 km伝送した場合の終端に受信部を設けた場合に、各波長で受信部での残留分散が異なることで、受信部で補償する分散補償量が各波長で異なる。分布する信号光波長の中心波長とは、図2に示すように、信号光の波長分布の平均となる波長である。

【0008】システム全体の波長分散設計をする際、すべてのチャンネルで伝送特性をバランスよく良好にするために、分布する信号光波長の中心波長の最適な波長分散設計が重要となる。この場合の分布する信号光波長の中心波長（チャンネル5）における波長分散マップを図3に示す。

【0009】この図に示すように、伝送路700kmで累積した波長分散に対し、分散補償ファイバ70kmを挿入するごとに100%補償を行い、分散補償ファイバ挿入ごとに累積する波長分散が零になるように設計されている。その後は、その繰り返しである。図4に1つの分散補償区間構成と分散補償量の詳細を示す。

【0010】70kmごとに光増幅器を行う光増幅中継器により伝送ファイバとなるDSFを接続しこの繰り返しにより、10個の光増幅中継器を用いて700kmの伝送を行う。光増幅中継器10と光増幅中継器11の伝送路をDCFとなるファイバで構成する。この時、770km地点では分散が零になるように分散補償を行う。

【0011】図3において、信号光は、3,000km伝送後、受信側において分散補償ファイバ(Dispersion Compensating Fiber, DCF)を用いて分散補償（後置補償）している。（点線で示した分散量を受信機側に設けた分散補償器にて補償している。）中心波長チャンネル5以外のチャンネルについても、図1の特性に従い分散スロープの影響により伝送路中で累積する残留分散が波長ごとに異なるため、受信機に於いてチャンネル（信号光波長）ごとにDCFの長さを調整して分散補償をしている。

【0012】受信機側で補償する分散量については伝送路で用いられるDSFとDCFにおける波長分散値の製造誤差より生じる波長分散の分散補償についても分散補償量の調整を行っている。上記の方法を用いた場合、さらに伝送路の長距離化が進んだ場合に、受信端局の分散補償ファイバ量が増え、受信端局の規模が大きくなる可能性がある。

【0013】分散スロープの影響により各波長で残留分散が異なり、受信部で補償する分散補償量が異なる。そのため、中心波長での残留波長分散が大きいと、伝送特性の良好なチャンネルと悪いチャンネルに大きな差が生じ、システム全体のバランスがくずれ、さらに、受信端局の規模も大きくなってしまふ。

【0014】例えば、伝送距離10,000km（太平洋を横断する距離）の場合について述べる。分布する信号光波長の中心波長が重要と考えられるので、その波長に注目して述べる。DSFにおける波長分散を $-1.8\text{ps/nm/km}$ 、分散補償ファイバにおける波長分散を $+18\text{ps/nm/km}$ であり、中継間隔70km、10中継おきに分散補償ファイバを挿入し、そのたびに累積した波長分散を100%補償する場合を考える。製造誤差を一切考慮せず、典型値で計算を行うと、受信端局では、約 $1260\text{ps/nm}$ の分散補償ファイバ

が必要となる。

【0015】さらに、実際にファイバを製造したときに生じる製造誤差についても考慮する必要がある。 $1.5\mu\text{m}$  零分散ファイバの波長分散の製造誤差 $\pm 0.2\text{ps/nm/km}$ 、分散補償ファイバの波長分散の製造誤差 $\pm 0.5\text{ps/nm/km}$ 、の場合の伝送路の製造誤差による残留波長分散量を図5に示す。

【0016】上記で述べたように、DSFとDCFの伝送路中で用いる割合は、それらの波長分散の逆数比とほぼ同程度であり、約10対1である。この場合、残留分散は $\pm 2275\text{ps/nm}$ に達し、その内訳は、DSFの製造誤差が $\pm 1820\text{ps/nm}$ 、DCFの製造誤差が $\pm 455\text{ps/nm}$ である。この残留分散を補償するために、余分のファイバとして約 $\pm 120\text{km}$ のDCFおよびDSFが必要であり、これは4区間分にも相当する。

【0017】このように、受信端局において従来の方法で、残留波長分散を補償するには、最大 $3535\text{ps/nm}$ （ $1260+2275\text{ps/nm}$ ）の分散補償ファイバ量を必要である。この分散補償量を実現するには、分散補償ファイバが約 $200\text{km}$ 必要であり、ファイバの損失を $0.2\text{dB/km}$ とすると、この分散補償ファイバで生じる損失は約 $40\text{dB}$ に相当する。

【0018】この損失を補償するためには、利得約 $20\text{dB}$ の光増幅器が2台必要となる。そのため、受信端局の装置構成および実装規模が大きくなる。また、残留分散が大きいと、伝送特性の劣化も生じてしまう。

【0019】

【発明が解決しようとする課題】図1のよいう波長多重で送信した場合に、受信機側で全てのチャンネルに対して分散補償を行う必要がある。また、伝送距離を延ばすためには、分散補償の誤差を受信機側で追加補償する必要がある。

【0020】従って、光増幅中継伝送方式における受信端局における波長分散補償量を軽減し、伝送特性の劣化を防ぐ必要がある。

【0021】

【課題を解決するための手段】課題の解決策として、

（1）送信機と受信機間の分散が生じる伝送路を単一または複数の波長の光を用いて通信を行う光通信システムに於いて、該伝送路を複数のブロックに分割して該ブロック内で生じる特定波長の分散を該ブロック内で生じる該特定波長の分散量より過剰に分散補償を行う分散補償器を設け、該特定波長において該受信機端で分散が実質的に零になるようにする。

（2）手段（1）に於いて、該送信機と該受信機間はほぼ等間隔に光増幅中継器を有しており、該光増幅中継器間隔を変えずに該分散補償器を挿入する。

（3）手段（2）に於いて、該光増幅中継器間の設置位置は変えずに分散補償器の補償量を変える。

（4）手段（1）に於いて 該分散補償器は該光増幅中

継器間の分散を生じるファイバと分散する分散補償ファイバからなり、該分散を生じるファイバと該分散補償ファイバの割合の異なる多種類のケーブルを用意して、分散補償量を可変する。

(5) 手段(1)に於いて 該分散補償器は該光増幅中継器間の分散を生じるファイバと分散する分散補償ファイバからなり、該分散を生じるファイバと該分散補償ファイバの割合の異にして接続したファイバを複数設け、1本のケーブル内に分散補償量の異なる多種類のファイバを収容し、ケーブル接続時に最適な分散補償量のファイバを選択する。

(6) 手段(1)において該分散補償器の数を(m)、該ブロック数を(m+1)とした場合に、分散補償器の補償量として約 $(m+1)/m \times 100\%$ 補償とする。

(7) 手段(1)において該送信機側と該受信機側からケーブルの敷設を行い、該送信側のケーブルと受信側のケーブルを接続する際に、異なる分散値を有する複数のファイバを収容した多芯化ケーブルで接続を行い、システム全体のファイバの波長分散の製造誤差を補償する。

(8) 手段(1)において該分散補償器として正の分散を持つファイバを用いる場合は該伝送路として負の分散を持つファイバを用い、該分散補償器として負の分散を持つファイバを用いる場合は該伝送路として正の分散を持つファイバを用いる。

(9) 手段(1)に於いて、複数の波長を用いるシステムでは特定波長は複数の波長の中の中心の波長にする。

#### 【0022】

【作用】単波長通信に於いては、累積した波長分散量以上の分散補償量を持つ分散補償ファイバを周期的に挿入し、受信端局において補償する残留分散を零に近づけているため、受信側での分散補償を不要にすることができる。波長多重通信時においては、中心波長が受信端局において補償する残留分散を零に近づけているため、他の波長に於いても零を中心に分布し、受信側での分散補償量を削減することができ、伝送特性の劣化なしに、受信端局における規模の増大を防ぐことができる。

【0023】また、伝送路内に挿入する分散補償ファイバの分散補償量を可変できるようにし、製造誤差による残留分散量のバラツキを減少させるため、受信側での分散補償量を削減することができる。

#### 【0024】

【発明の実施の形態】実施例1として、波長多重通信においては信号光波長における分布の中心波長に対し、単波長通信に対しては通信波長に対して分散補償ファイバの挿入ごとのブロックでは零とせず、最終的な残留分散が実質的に零になるように構成する。

【0025】実施例1の基本構成を図6に示す。n波の信号光が送信機で合波され、伝送路を通して、受信機で分波される。伝送路には、DSF 数区間おきに分散補償のための分散補償ファイバDCFを導入している。信号光

波長における分布の中心波長に対し、その分散補償のために用いられる分散補償ファイバの分散補償量は、ブロックごとには零にはせず、受信機での最終的な残留分散量を零に近づくように構成する。

【0026】特に、分散補償間隔が等間隔の場合には、伝送路中に挿入される分散補償ファイバの補償量は、そこまでのDSF 伝送中に累積した累積分散量以上となり、分散補償ファイバの区間数を(m)、補償必要なDSF のブロック数(DSF 数区間に相当)を(m+1)とした場合には、約 $(m+1)/m \times 100\%$ 補償が必要となる。信号光波長における分布の中心波長に対し、DSF における波長分散 $-1.8\text{ps/nm/km}$ 、分散補償ファイバにおける波長分散 $+18\text{ps/nm/km}$ の場合を例として述べる。

【0027】伝送距離10,000km で、DSF の1ブロックの伝送距離を700km、分散補償ファイバの1区間の伝送距離を76kmとする。この時の波長分散マップを図7に示す。分散補償ファイバ挿入するブロックごとでは、残留波長分散は零にせず、最終的に受信端局で零となるようにする。

【0028】即ち、分散補償間隔が等しい場合に、分散補償ファイバの区間数を(m)、補償必要な分散シフトファイバのブロック数を(m+1)とした場合に、分散補償ファイバの補償量として約 $(m+1)/m \times 100\%$ 補償とする。図8に1ブロックの分散補償区間構成と分散補償量の詳細を示す。送信機から光増幅中継器1~10迄の各伝送路DSFはそれぞれ70km光増幅中継器10と光増幅中継器11の間には分散補償ファイバDCF76km挿入することで分散値が零を越えプラスの分散値を取るようになる。

【0029】図7及び図8では、伝送路DSFはマイナスの分散値を有し、分散補償ファイバはプラスの分散値を取る構成に成っているが、伝送路DSFにプラスの分散値を有し、分散補償ファイバにマイナスの分散値を取る図9の構成にて図7のように、10,000km伝送した場合に、ブロックごとには零にはせず、受信機が設置される位置で最終的な残留分散量を実質的に零になるよう構成する。

【0030】ここでは、波長多重通信においては信号光波長における分布の中心波長に対して分散補償ファイバの挿入ごとのブロックでは零とせず、最終的な残留分散が実質的に零になるように構成するれいを説明したが、波長多重通信を行う場合は通信を行う特定波長に着目して分散補償を行う場合、特定の波長の伝送路の分散補償区間で特定の波長に対して分散値が零にならないように分散補償をしても良い。

【0031】特定波長の例としては、高ビットレートの信号を伝送するチャネルの波長、低い誤り率を要求されるチャネルの波長などが考えられる。当然これらのチャネルの波長を全体の波長の中心な波長に配置することは伝送品質を向上させる効果が高まることはいうまでも

無い。実施例2として、波長多重通信の特定波長及び単一波長通信において、第1の実施例を実現するため、伝送路内の分散補償を行う区間に挿入する分散補償ファイバDCFの分散補償量を可変できるようにし、分散補償区間の伝送路での分散量を調整し、製造誤差による残留分散量のバラツキを減少させる方法を説明する。

【0032】1つの伝送システムで用いられるDSFを数%製造した段階で、DSFの波長分散の製造誤差の分布を調査する。その結果、例えばDSFの製造誤差が負の累積量に偏る場合には、伝送路中に挿入する分散補償ファイバDCFの分散補償量を増加させ、正の累積量に偏る場合には、伝送路中に挿入する分散補償ファイバDCFの分散量を減少させることによって、その製造誤差を補償する。

【0033】伝送路内の分散補償を行う区間に挿入する分散補償ファイバDCFの分散補償量を分散量の誤差に対応して変える方法としては次のようにして行う。

①ファイバ長の変更

②ファイバの波長分散値の多様化

③ケーブルの多様化

④ケーブル内のファイバ芯数を増加させて、ケーブル接続時に選択

まず、ファイバ長の変更とは、ある区間において、中継器間の設置位置は変えずに、ファイバ長またはケーブル長を変えることで波長分散補償量を可変する方法である。

【0034】例えば図13、図14のように分散補償ブロックのDCFのな長を物理的に長く構成する。図13ではDCFをケーブル内の張力線に巻き付ける時の曲率を変えることで、ケーブル長よりDCF長が長くなるように、且つ曲率を変えることによりDCFの長さを調整可能にする。

【0035】図14ではケーブルの敷設区間、即ち、光増幅中継器間隔については他の伝送路間隔と同じ距離にし、ケーブルの敷設時に蛇行させる曲率をDSFの場合と異なる曲率を選ぶことにより、実質的な距離を伸縮し、分散補償量を変える。次に、ファイバの波長分散値の多様化とはある区間において波長分散値の異なる分散補償ファイバを多様化用意しておき、波長分散補償量を可変する方法である。

【0036】これは分散補償区間を構成するDSFとDCFの長さの比を変えることにより容易に製造可能である。さらに、図10、図11に示すようにケーブルの多様化とはある区間において分散補償ファイバの割合の異なるケーブルを用意して、ケーブルを分散補償値に対応させて選択することにより分散補償量を可変する方法である。

【0037】最後に、図12に示すようにケーブルを多芯化し、1本のケーブル内に分散補償量の異なる多種類のファイバを用意しておきケーブル接続時に最適な分散

補償量のファイバを選択する。図12の構成はケーブルはファイバに比べ非常に高価であるため、1本のケーブルに1本のファイバを用意し、分散値の異なるケーブルを複数容易する場合に比べ経済的に有利である。

【0038】上記4つの方法を伝送路の各分散補償区間に分散誤差を踏まえて、分散補償量に対応して、組み合わせる用いることにより、伝送特性を劣化させずに、受信端局における装置構成および実装をコンパクトにするのにより効果的である。上記に述べたように、分散量の異なる分散補償ファイバDCFを多様化用意することで、波長分散補償量を調整でき、ファイバの製造誤差による残留波長分散のバラツキ量を補償できる例を示す。

【0039】DSFにおける波長分散を $-1.8\text{ps/nm/km}$ 、分散補償ファイバにおける波長分散を $+18\text{ps/nm/km}$ であり、伝送距離 $10,000\text{km}$ 、中継間隔 $70\text{km}$ 、10中継おきに分散補償ファイバを挿入している場合について示す。また、DSFの波長分散の製造誤差 $\pm 0.2\text{ps/nm/km}$ 、分散補償ファイバの波長分散の製造誤差 $\pm 0.5\text{ps/nm/km}$ とする。

【0040】このとき、製造誤差により残留分散に $\pm 2275\text{ps/nm}$ のバラツキが生じるので、分散補償ファイバ長として約 $\pm 120\text{km}$ のバラツキが生じる。このバラツキを抑える方法として分散補償ファイバの割合の異なるケーブルを用意する方法が挙げられる。まず、製造工程、経済的な面の有利さも考え、分散補償ファイバの割合が0%、50%、100%の3種類のファイバを考える。

【0041】製造誤差を含まない場合に分散補償ファイバの割合が50%の区間を配置することにより、システム全体の残留波長分散量が負に偏れば、分散補償ファイバの割合を50%から100%へ変更し、正に偏れば、分散補償ファイバの割合を50%から0%にすることができ。残留波長分散は、中継器区間の半区間分の波長分散値ステップで調整可能となる。

【0042】つまり、中継器間が $70\text{km}$ の場合であれば、約 $700\text{ps/nm}$ ステップで調整可能である。また、ファイバ長として約 $\pm 120\text{km}$ のバラツキがあるので、それを補償するには、この場合、約3区間( $3 \times 35\text{km}$ )必要である。分散補償ファイバの割合が50%の区間を3区間用いた場合について以下に示す。

【0043】製造誤差を含まない場合の波長分散マップを図15に示す。製造誤差を含まない場合に最適な波長分散設計がなされているとする。DSFの波長分散の製造誤差 $+0.2\text{ps/nm/km}$ 、分散補償ファイバの波長分散の製造誤差 $+0.5\text{ps/nm/km}$ を含んだ場合の波長分散マップを図16に示す。これに対し、正に偏ったので、分散補償ファイバの割合を50%から0%に変更してシステム全体の波長分散を調整したときの波長分散マップを図17に示す。

【0044】また、DSFの波長分散の製造誤差 $-0.2\text{ps/nm/km}$ 、分散補償ファイバの波長分散の製造誤差 $-0.5\text{ps/nm/km}$

kmを含んだ場合の波長分散マップを図18に示す。これに対し、負に偏ったので、分散補償ファイバの割合を50%から100%に変更してシステム全体の波長分散を調整したときの波長分散マップを図19に示す。このように、製造誤差によるバラツキを抑えることができる。

【0045】次に、中継間隔50kmの場合について示す。ファイバ長として約±120kmのバラツキがあるので、それを補償するには、この場合、約4区間(4×25km)必要である。分散補償ファイバの割合が50%の区間を4区間用いた場合について以下に示す。

【0046】中継区間が50kmであるので、システムの残留波長分散量は、約500ps/nmステップで調整可能である。製造誤差を含まない場合の波長分散マップを図20に示す。製造誤差を含まない場合に最適な波長分散設計がなされているとする。DSFの波長分散の製造誤差+0.2ps/nm/km、分散補償ファイバの波長分散の製造誤差+0.5ps/nm/kmを含んだ場合の波長分散マップを図21に示す。

【0047】これに対し、正に偏ったので、分散補償ファイバの割合を50%から0%に変更してシステム全体の波長分散を調整したときの波長分散マップを図22に示す。また、DSFの波長分散の製造誤差-0.2ps/nm/km、分散補償ファイバの波長分散の製造誤差-0.5ps/nm/kmを含んだ場合の波長分散マップを図23に示す。これに対し、負に偏ったので、分散補償ファイバの割合を50%から100%に変更してシステム全体の波長分散を調整したときの波長分散マップを図24に示す。

【0048】このように、製造誤差によるバラツキを抑えることができる。さらに、残留波長分散を調整するステップを細かくしたい場合には、分散補償ファイバの割合の種類をさらに増加させることにより実現可能である。図25にシステム全体の波長分散の製造誤差を補正する区間を設ける場合を示す。

【0049】そこで実施例2の手法で構成したファイバ及びケーブルより用意した多種類分散値を有するようにしたファイバから適切なものを選択して、最終的な波長分散の等化作業を行う。図25の調整方法のとしては送信側及び受信側端局側からそれぞれ敷設していく過程で、敷設されたファイバの特性を調べ、送信機側より敷設したケーブルと受信機側より敷設したケーブルとを接続する区間を波長分散調整区間として、実施例2に開示した手段のいずれかまたは組み合わせを用いて、伝送を行う特定波長に対するシステム全体の波長分散誤差調整し、且つ、受信機の位置で実質的に波長分散が零になるように分散量を調整することで伝送特性が悪化しないように分散量を調整する。

【0050】

【発明の効果】本願発明のように構成することで、受信波長多重で送信した場合に、受信機側で全てのチャネルに対して分散補償を行う必要がなくなる。また、波長多

重時の中心波長を用いて調整を行うために、他の波長の分散のばらつきも零分散に近い値になり、全体的に受信側で必要になる分散補償器の量を削減出来る。このため受信機側で分散補償器による損失を補償するための光増幅器を不要にすることが出来る。

【0051】また、従来伝送距離を延ばすためには、分散補償の誤差を受信機側で追加補償する必要があったが、誤差分についても伝送路内に設けた分散補償器で補償するため受信機側での分散補償量を削減できる。前にも述べたように分散補償器による損失を補償するための光増幅器は不要になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】分散スロープの影響による各波長における残留累積波長分散量の違いを示す図

【図2】波長分布の平均波長を示す図

【図3】従来の波長分散補償方法を適用した場合の波長分散マップ。

【図4】伝送路の1分散補償区間の構成と分散マップの関係を示す図

【図5】伝送路の製造誤差による残留波長分散量を示す図

【図6】本発明の基本構成を示す図

【図7】本発明を適用した場を居の波長分散補償マップ。

【図8】本発明の伝送路の1分散補償区間の構成と分散マップの関係を示す図

【図9】本発明の伝送路の1分散補償区間の構成と分散マップの関係を示す図

【図10】ケーブルの他種類化を示す図

【図11】ケーブルの構造を示す図

【図12】ケーブルの多芯化を示す図

【図13】ファイバ長の変更を示す図

【図14】ケーブル長の変更を示す図

【図15】本発明を用いた製造誤差を含まない場合の波長分散マップ

【図16】DCF: +0.5ps/nm, DSF+0.2ps/nmの製造誤差を含んだ波長分散マップ

【図17】本発明を用いた時のDCF: +0.5ps/nm, DSF+0.2ps/nmの製造誤差を含んだ波長分散マップ

【図18】DCF: -0.5ps/nm, DSF-0.2ps/nmの製造誤差を含んだ波長分散マップ

【図19】本発明を用いた時のDCF: -0.5ps/nm, DSF-0.2ps/nmの製造誤差を含んだ波長分散マップ

【図20】本発明を用いた製造誤差を含まない場合の波長分散マップ

【図21】DCF: -0.5ps/nm, DSF-0.2ps/nmの製造誤差を含んだ波長分散マップ

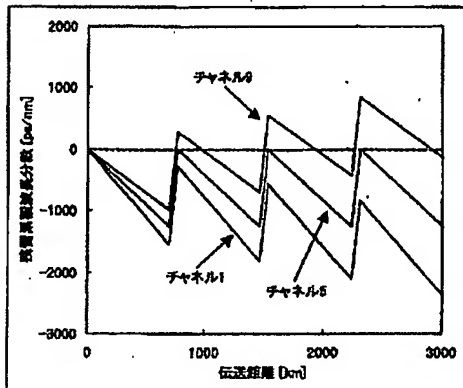
【図22】本発明を用いた時のDCF: -0.5ps/nm



nm, DSF $-0.2$  ps/nmの製造誤差を含んだ波長分散マップ

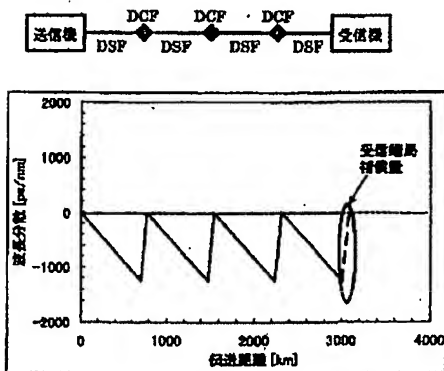
【図23】DCF:  $+0.5$  ps/nm, DSF $+0.2$  ps/nmの製造誤差を含んだ波長分散マップ \*

【図1】



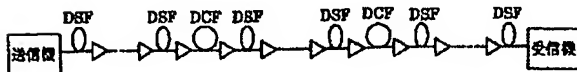
分散スロープの影響による各波長における残留累積波長分散量の違い

【図3】



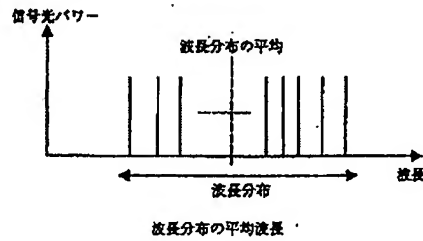
従来の波長分散補償方法を適用した場合の波長分散マップ (伝送距離 3,000km)

【図6】

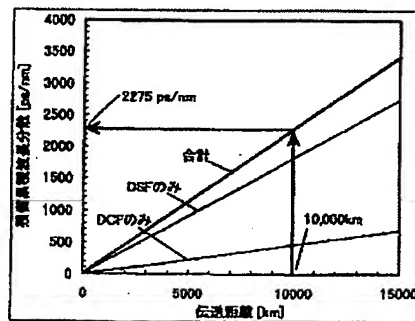


本発明の基本構成

【図2】

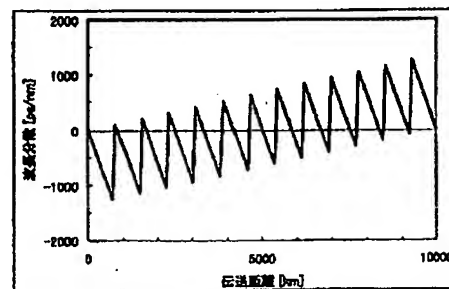


【図5】



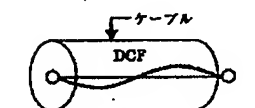
伝送路の製造誤差による残留波長分散量

【図7】



本発明を適用した場合の波長分散マップ (伝送距離 10,000km)

【図13】

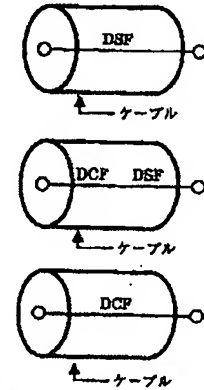


ファイバ長の変更 (——は、蛇行路)

\* 【図24】本発明を用いた時のDCF:  $+0.5$  ps/nm, DSF $+0.2$  ps/nmの製造誤差を含んだ波長分散マップ

【図25】波長分散調整区間の配置方法を示す図

【図11】



ケーブル構成図

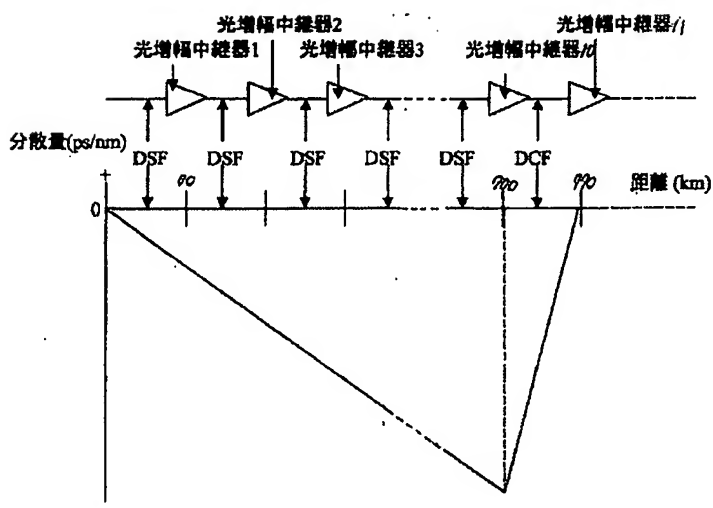
【図14】



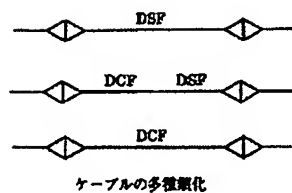
ケーブル長の変更 (——は、蛇行路)



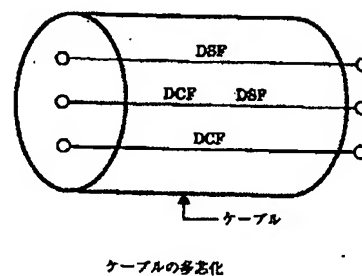
【図4】



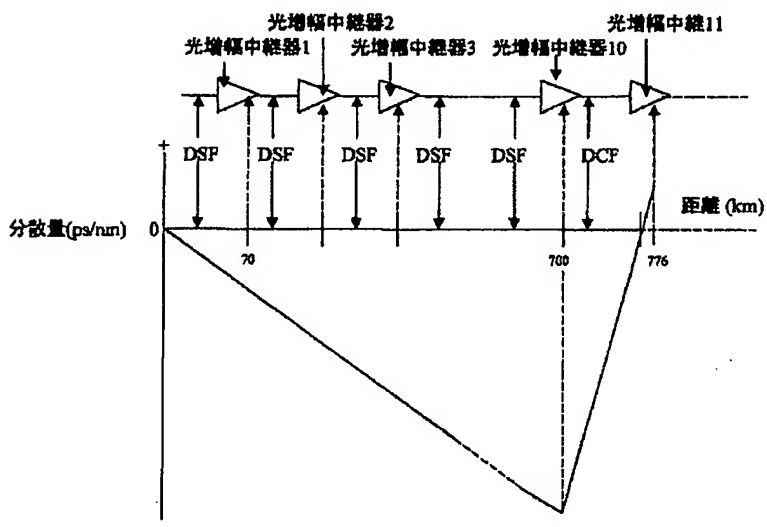
【図10】



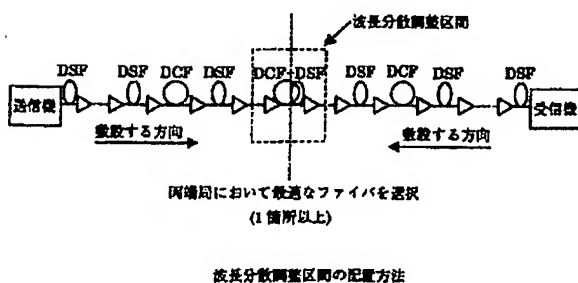
【図12】



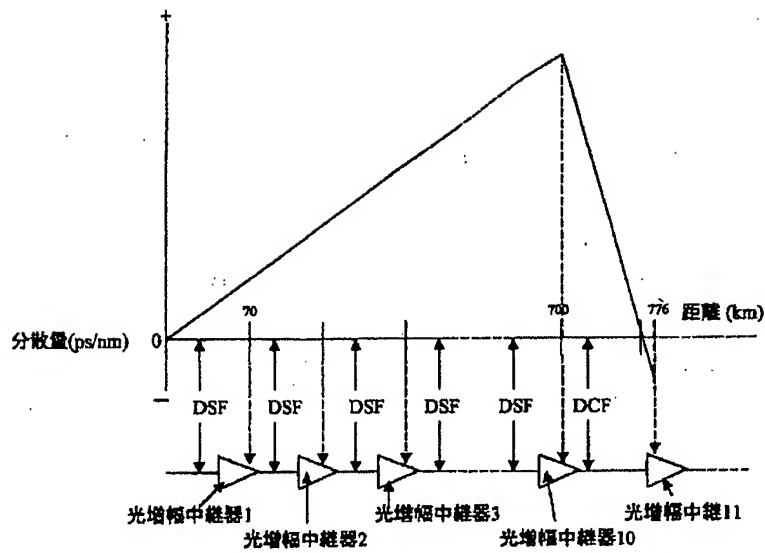
【図8】



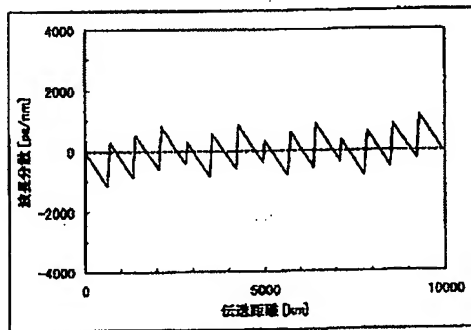
【図25】



【図9】

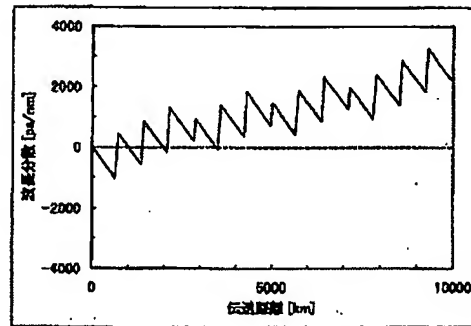


【図15】



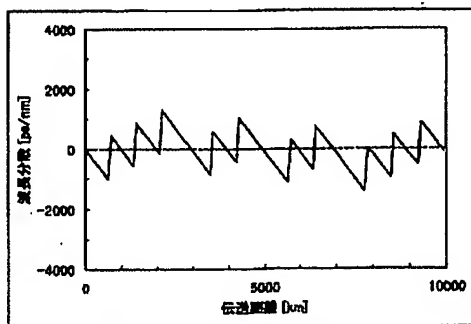
本発明を用いた製造誤差を含まない場合の波長分散マップ  
(区間長 70km の場合)

【図16】



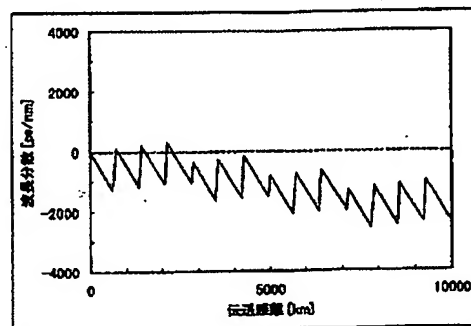
DCF: +0.5ps/nm, DSF: +0.2ps/nm の製造誤差を含んだ波長分散マップ  
(区間長 70km の場合)

【図17】



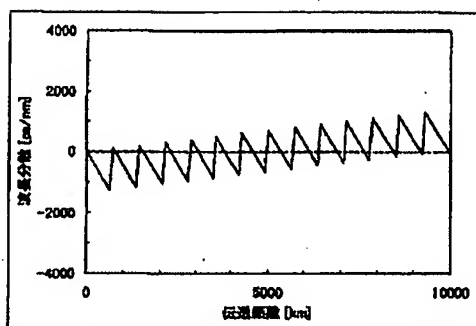
本発明を用いた時の DCF: +0.5ps/nm, DSF: +0.2ps/nm の製造誤差を含んだ  
波長分散マップ (区間長 70km の場合)

【図18】



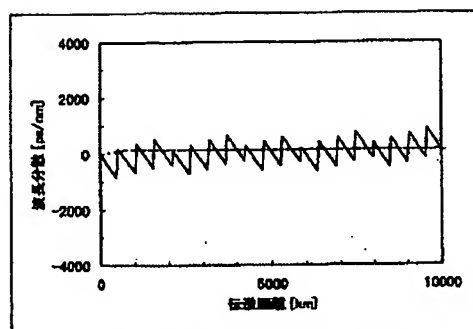
DCF: -0.5ps/nm, DSF: -0.2ps/nm の製造誤差を含んだ波長分散マップ  
(区間長 70km の場合)

【図19】



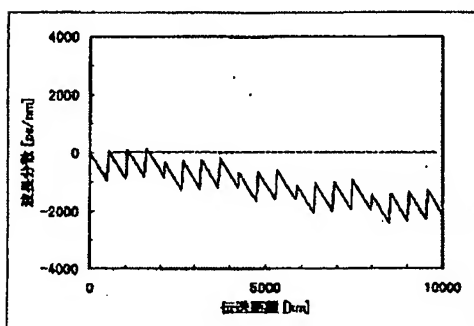
本発明を用いた時の DCF:-0.5ps/nm,DSF:-0.2ps/nm の製造誤差を含んだ波長分散マップ (区間長 70km の場合)

【図20】



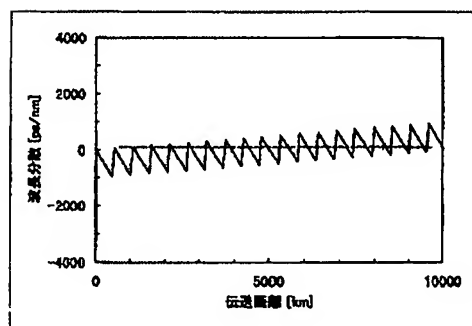
本発明を用いた製造誤差を含まない場合の波長分散マップ (区間長 50km の場合)

【図21】



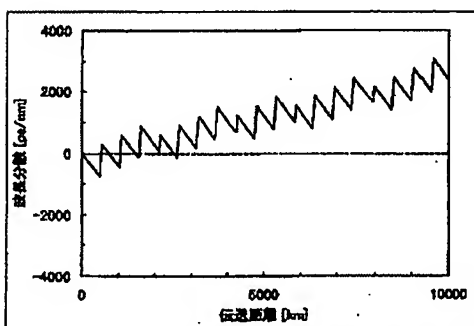
DCF:-0.5ps/nm,DSF:-0.2ps/nm の製造誤差を含んだ波長分散マップ (区間長 50km の場合)

【図22】



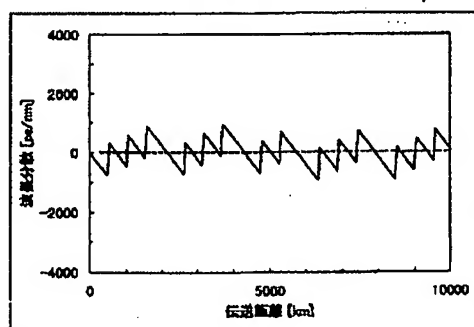
本発明を用いた時の DCF:-0.5ps/nm,DSF:-0.2ps/nm の製造誤差を含んだ波長分散マップ (区間長 50km の場合)

【図23】



DCF:+0.5ps/nm,DSF:+0.2ps/nm の製造誤差を含んだ波長分散マップ (区間長 50km の場合)

【図24】



本発明を用いた時の DCF:+0.5ps/nm,DSF:+0.2ps/nm の製造誤差を含んだ波長分散マップ (区間長 50km の場合)

(11)

特開平11-331074

フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

H 0 4 J 14/02